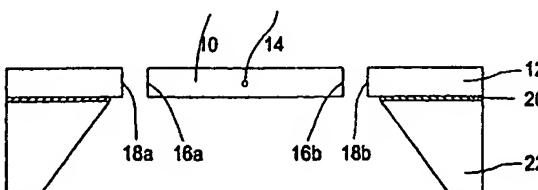


PCT

WELTOGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation 7 : <b>G02B 26/08</b>	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/25170</b> (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>4. Mai 2000 (04.05.00)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/EP98/08204</b>		(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: <b>15. Dezember 1998 (15.12.98)</b>		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
(30) Prioritätsdaten: <b>198 49 725.3 28. Oktober 1998 (28.10.98) DE</b>		
(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ): <b>FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).</b>		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): <b>SCHENK, Harald [DE/DE]; Leisniger Strasse 31, D-01127 Dresden (DE). DÜRR, Peter [DE/DE]; Alaunstrasse 96, D-01099 Dresden (DE). KÜCK, Heinz [DE/DE]; Dresdner Strasse 28, D-01465 Langebrück (DE).</b>		
(74) Anwalt: <b>SCHOPPE, Fritz; Schoppe &amp; Zimmermann, Postfach 71 08 67, D-81458 München (DE).</b>		
(54) Title: <b>MICROMECHANICAL COMPONENT COMPRISING AN OSCILLATING BODY</b>		
(54) Bezeichnung: <b>MIKROMECHANISCHES BAUELEMENT MIT SCHWINGKÖRPER</b>		
		
(57) Abstract		
<p>The invention relates to a micromechanical component comprising a frame layer (12) and an oscillating body (10) which is mounted in a recess that penetrates the frame layer (12) by means of a suspension device (14). Said oscillating body (10) is mounted in such a way that it can pivot around an axis of oscillation in a vertical manner with regard to the frame layer plane. At least one lateral surface (16a, 16b) of the oscillating body (10), said surface being essentially vertical with regard to frame layer plane, is arranged in relation to at least one inner lateral surface (18a, 18b) of the recess such that a capacity formed between the same is varied by an oscillation of the oscillating body (10) in such a way that an oscillation of the oscillating body (10) around the axis of oscillation can be generated by periodically varying a voltage applied between the frame layer (12) and the oscillating body (10). A supporting substrate (22) is provided for holding the frame layer (12), whereby the supporting substrate (22) is configured such that it has an insignificant physical influence on the generation of the oscillation of the oscillating body (10) compared to the influence of the voltage applied between the frame layer (12) and the oscillating body (10).</p>		

(57) Zusammenfassung

Ein mikromechanisches Bauelement weist eine Rahmenschicht (12) und einen Schwingkörper (10), der durch eine Aufhängungseinrichtung (14) in einer die Rahmenschicht (12) durchdringenden Ausnehmung derart gelagert ist, daß der Schwingkörper (10) vertikal zur Rahmenschichtebene um eine Schwingachse schwenkbar ist, auf. Zumindest eine Seitenfläche (16a, 16b) des Schwingkörpers (10), die im wesentlichen senkrecht zur Rahmenschichtebene ist, ist bezüglich zumindest einer inneren Seitenfläche (18a, 18b) der Ausnehmung derart angeordnet, daß eine zwischen denselben gebildete Kapazität durch eine Schwingung des Schwingkörpers (10) variiert, derart, daß durch periodisches Verändern einer Spannung, die zwischen die Rahmenschicht (12) und den Schwingkörper (10) angelegt ist, eine Schwingung des Schwingkörpers (10) um die Schwingachse erzeugbar ist. Ein Trägersubstrat (22) zum Halten der Rahmenschicht (12) ist vorgesehen, wobei das Trägersubstrat (22) derart ausgebildet ist, daß dasselbe einen verglichen mit dem Einfluß der Spannung zwischen Rahmenschicht (12) und Schwingkörper (10) vernachlässigbaren physikalischen Einfluß auf die Erzeugung der Schwingung des Schwingkörpers (10) hat.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Eestland						

**Mikromechanisches Bauelement mit Schwingkörper****Beschreibung**

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein mikromechanisches Bauelement, das einen beweglichen Abschnitt, der in rezonante Schwingungen versetzt werden kann, d.h. einen Schwingkörper, aufweist. Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf solche mikromechanische Bauelemente, bei denen eine Schwingung des Schwingkörpers aus der Chip-ebene heraus, d.h. vertikal zu der Chipebene erzeugt wird.

Die Funktionalität von bestimmten mikromechanischen Aktoren, beispielsweise solchen, die zur Ablenkung von Licht konzipiert sind, beruht auf der Auslenkung eines beweglichen Elements aus der Chipebene heraus. Das bewegliche Element ist dabei über eine Biege- oder Torsionsfeder mit dem übrigen Chip verbunden. Um die Auslenkung zu erreichen, ist es zum einen bekannt, den beweglichen Teil als Elektrode auszubilden und eine geeignete Gegenelektrode zu verwenden, so daß der Aktor durch ein elektrisches Drehmoment angetrieben wird. Zum anderen ist es bekannt, den beweglichen Teil in der Chipebene spulenartig mit Leiterbahnen zu versehen, so daß bei einem Stromfluß durch die Leiterbahnen im Magnetfeld ein magnetisches Drehmoment zum Antrieb genutzt werden kann.

Bei einer Vielzahl bekannter mikromechanischer Bauelemente ist die Gegenelektrode unterhalb der beweglichen Elektrode angeordnet, so daß beim Anlegen einer Spannung ein elektrisches Drehmoment zur Auslenkung aus der Chipebene genutzt werden kann. Zur Herstellung solcher Bauelemente gibt es zwei prinzipielle Lösungsansätze.

Bei dem ersten Ansatz wird zunächst auf das Substrat, das selbst als Gegenelektrode dienen kann, oder auf eine aus Metall strukturierte Gegenelektrode, die auf dem Substrat

angeordnet ist, eine Opferschicht aufgebracht, die beispielsweise aus Siliziumdioxyd oder Fotolack besteht. Auf dieser Opferschicht wird dann aus einem geeigneten leitfähigen Material, beispielsweise Aluminium oder hochdotiertem Polysilizium, die bewegliche Elektrode gebildet. Abschließend wird die Opferschicht entfernt. Bei M. Fischer u.a. "Electrostatically deflectable polysilicon torsional mirrors", in Sensors and Actuators A 44 (1994), S. 83 ff., ist ein Verfahren beschrieben, bei dem das Siliziumsubstrat die Gegenelektrode bildet, die Opferschicht aus Silizium besteht und die bewegliche Elektrode aus hochdotiertem Polysilizium hergestellt ist. Bei diesem Verfahren ist der Elektrodenabstand durch die Dicke der Opferschicht bestimmt, so daß durch dieses oder gleichartige Verfahren keine beliebig großen Elektrodenabstände realisiert werden können. Aktoren mit großer lateraler Ausdehnung und großem Ablenkinkel können daher nicht gefertigt werden.

Der zweite prinzipielle Lösungsansatz basiert auf einem Hybridaufbau. Dabei werden Gegenelektrode und beweglicher Teil getrennt voneinander gefertigt und gegen Ende des Herstellungsprozesses zusammengefügt. Beispielsweise ist bei H. Löwe u.a. "Meßtechnische Anforderungen bei der Herstellung von Silizium-Mikrospiegeln", in Sensor 95 (Kongreßband), S. 631 ff., ein Aufbau beschrieben, der aus einem Rahmen aus Silizium, in dem der bewegliche Teil gelagert ist, und einer Trägerplatte, die die Gegenelektroden enthält, besteht. Mittels dieses Lösungsansatzes können große Elektrodenabstände realisiert werden. Jedoch leidet dieser Lösungsansatz unter dem Nachteil, daß entsprechend große Antriebsspannungen benötigt werden. Überdies macht die getrennte Fertigung von mikromechanischer Struktur und Trägerplatte den Prozeß aufwendig.

Bei den oben genannten Bauelementen, bei denen die Gegenelektrode unterhalb der beweglichen Elektrode angebracht ist, kann die Amplitude der Schwingung des beweglichen Teils

naturgemäß den Abstand der Elektroden nicht überschreiten. Wird zur Vergrößerung der Amplitude ein größerer Elektrodenabstand verwendet, so muß andererseits die Antriebsspannung erhöht werden, um pro Schwingungszyklus die notwendige Energie einkoppeln zu können. Bei diesem Aufbau ist es somit nicht möglich, eine große Amplitude unter Verwendung geringer Antriebsspannungen zu erreichen.

Bei S. Miller u.a. "Scaling Torsional Cantilevers for Scanning Probe Microscope Arrays: Theory and Experiment", in Transducers '97 (1997) S. 445 ff., ist ein Aufbau beschrieben, bei dem eine Auslenkung des beweglichen Teils des mikromechanischen Bauelements aus der Chip-Ebene ohne die Verwendung einer unterhalb der beweglichen Elektrode angeordnete Gegenelektrode möglich ist. Der Aufbau, der in dieser Schrift beschrieben ist, besitzt einen schwenkbar gelagerten beweglichen Balken, der durch kapazitive Aktoren angetrieben werden kann. Dazu ist der Balken mit einer Mehrzahl von beweglichen Interdigital-Elektroden versehen. Diese beweglichen Interdigital-Elektroden bilden zusammen mit feststehenden Interdigital-Elektroden die kapazitiven Aktoren, die den sogenannten elektrostatischen Kammantrieb-Schwebungseffekt ausnutzen. Dabei wirkt ein vertikal asymmetrisches Feld auf die beweglichen Elektroden, was eine vertikale Kraft zur Folge hat, die bewirkt, daß sich die beweglichen Elektroden, und somit der bewegliche Balken, von dem Substrat weg bewegen. Durch diesen Effekt können sowohl statische Verschiebungen als auch Schwingungen des Balkens bewirkt werden. Um die asymmetrische Feldverteilung, die eine Bewegung des Balkens aus der Chip-Ebene bewirkt, zu erreichen, muß stets ein Substrat benachbart zu der beschriebenen Anordnung vorliegen, da sonst bei Vernachlässigung von Fertigungstoleranzen kein Drehmoment existiert, das eine Auslenkung aus der Chip-Ebene erlaubt. Erst das Vorliegen des Substrats ändert bei geeigneter Potentialverteilung den Feldlinienverlauf derart, daß eine vertikale Kraftkomponente entsteht, die zur Auslenkung genutzt werden kann. Auch hierbei ist somit ein kleiner

Abstand der beweglichen Elektroden zu dem Substrat essentiell, um die zur Bewegung senkrecht zur Chipebene notwendige Ausnutzung von Randeffekten zu ermöglichen. Auch hierbei sind somit keine großen Amplituden bei großer lateraler Ausdehnung des beweglichen Elements zu erreichen.

Bei N. Asada "Silicon Micromachined Two-Dimensional Galvano Optical Scanner" in IEEE Transactions on Magnetics (30) 6 (1994), S. 4647 ff., ist ein Antriebsprinzip beschrieben, das ein magnetisches Moment ausnutzt. Dabei sind auf das bewegliche Element eines Torsionsaktors lateral spulenförmige Leiterbahnen aufgebracht, so daß bei einem Stromfluß im Magnetfeld ein magnetisches Drehmoment zum Antrieb entsteht. Bei diesem Antriebsprinzip wird die Einschränkung der Amplitude aufgrund der Geometrie der Elektroden umgangen. Jedoch ist durch das magnetische Moment lediglich ein geringes Drehmoment realisierbar, so daß selbst im Resonanzfall nur Amplituden von weniger als 3° erreicht werden. Zudem ist der Aufbau aufgrund der Verwendung eines separat gefertigten Permanentmagneten relativ aufwendig.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein mikromechanisches Bauelement mit einem Schwingkörper zu schaffen, bei dem eine große Auslenkung des Schwingkörpers aus der Chipebene unter Verwendung geringer Spannungen möglich ist.

Diese Aufgabe wird durch ein mikromechanisches Bauelement gemäß Anspruch 1 gelöst.

Die vorliegende Erfindung schafft ein mikromechanisches Bauelement mit einer Rahmenschicht, und einem Schwingkörper, der durch eine Aufhängungseinrichtung in einer die Rahmenschicht durchdringenden Ausnehmung derart gelagert ist, daß der Schwingkörper vertikal zur Rahmenschichtebene um eine Schwingachse schwenkbar ist. Zumindest eine Seitenfläche des Schwingkörpers, die im wesentlichen senkrecht zur Rahmen-

schichtebene ist, ist bezüglich zumindest einer inneren Seitenfläche der Ausnehmung derart angeordnet, daß eine zwischen denselben gebildete Kapazität durch eine Schwingung des Schwingkörpers variiert, derart, daß durch periodisches Verändern einer Spannung, die zwischen die Rahmenschicht und den Schwingkörper angelegt ist, eine Schwingung des Schwingkörpers um die Schwingachse erzeugbar ist. Ferner ist ein Trägersubstrat zum Halten der Rahmenschicht vorgesehen, wobei das Trägersubstrat derart ausgebildet ist, daß dasselbe einen verglichen mit dem Einfluß der Spannung zwischen Rahmenschicht und Schwingkörper vernachlässigbaren physikalischen Einfluß auf die Erzeugung der Schwingung des Schwingkörpers hat.

Das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement basiert auf einem neuartigen elektrostatischen Antriebsprinzip, das es ermöglicht, resonante Biege- und Torsionsschwingungen beweglicher Teile mikromechanischer Bauelemente zu erzeugen, wobei die Bewegung des Schwingkörpers aus der Chipoberfläche heraus erfolgt, und die erreichbare Amplitude nicht durch eine Gegenelektrode eingeschränkt ist. Bei diesem Antriebsprinzip dient die innere Seitenfläche der Rahmenschicht, in der der Schwingkörper gelagert ist, als Gegenlektrode, wobei diese innere Seitenfläche direkt neben einer Seitenfläche des Schwingkörpers, die als bewegliche Elektrode dient, angeordnet ist, so daß sich eine Art Plattenkondensator ergibt, der aus den sich gegenüberliegenden Seitenflächen gebildet ist. Somit verläuft das elektrische Feld parallel zur Chipoberfläche.

Die zur Schwingung des Schwingkörpers notwendige Energieeinkopplung erfolgt über diese Kapazität. Die Energieeinkopplung erfolgt über das Anlegen einer Spannung zwischen der beweglichen Elektrode und der Gegenlektrode, wobei das Erhöhen und Verringern der elektrischen Spannung vorzugsweise derart erfolgt, daß über eine Schwingperiode gemittelt Energie eingekoppelt werden kann. Das Erniedrigen oder Abschalten

ten der elektrischen Spannung zwischen beweglicher Elektrode und Gegenelektrode erfolgt vorzugsweise während des Nulldurchgangs oder in unmittelbarer Nähe des Nulldurchgangs der Schwingung. Dieser Nulldurchgang wird vorzugsweise durch ein optisches Verfahren, durch ein Erfassen des Lade-/Entladestroms der auslenkungswinkelabhängigen Kapazität oder durch eine Bestimmung der auslenkungswinkelabhängigen Kapazität detektiert.

Um ein Anschwingen des Schwingkörpers zu erleichtern, können Asymmetrien, die durch den Herstellungsprozeß oder durch das Anbringen einer weiteren Elektrode oberhalb der Gegenelektrode erzeugt werden, vorgesehen sein, so daß beim Anlegen einer elektrischen Spannung geeigneter Frequenz ein periodisches Drehmoment erzeugt wird, das den Schwingkörper zu Schwingungen anregt. Die einkoppelbare Energie nimmt dabei mit zunehmender Auslenkung zu. Wird der Nulldurchgang jeweils detektiert und ein Generator damit synchronisiert, so wird das System mit seiner Resonanzfrequenz mit optimaler Phasenlage angeregt. Somit kann gemäß der vorliegenden Erfindung auf Elektroden, die geometrisch bedingt die Amplitude der Schwingung einschränken, vollständig verzichtet werden. Ferner kann das erfindungsgemäße Bauelement ohne weiteres unter Verwendung bekannter Verfahren der Oberflächenmikromechanik hergestellt werden.

Die vorliegende Erfindung schafft folglich ein mikromechanisches Bauelement mit einem einfachen Aufbau, das eine große Auslenkung des Schwingkörpers unter Verwendung einer vergleichsweise geringen Treiberspannung ermöglicht. Diese Vorteile werden erfindungsgemäß erhalten, da eine oder mehrere Seitenflächen des Schwingkörpers, die als bewegliche Elektrode dienen und senkrecht zu der Ebene des Trägersubstrats angeordnet sind, mit einer oder mehreren inneren Seitenflächen der Ausnehmung in der Rahmenschicht, in der der Schwingkörper gelagert ist, zusammenwirken, um eine Schwingung des Schwingkörpers zu ermöglichen, wobei keine darun-

terliegende Substratoberfläche erforderlich ist, die die Schwingungsamplitude begrenzen würde.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgende bezugnehmend auf den beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Querschnittsansicht eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements, wobei der Schwingkörper in Ruhelage ist;

Fig. 2 eine schematische Querschnittsansicht des in Fig. 1 dargestellten mikromechanischen Bauelements, wobei der Schwingkörper im ausgelenkten Zustand ist; und

Fig. 3 eine schematische Querschnittsansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels eines mikromechanischen Bauelements gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei der Schwingkörper in Ruhelage ist.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, weist das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement einen Schwingkörper 10, eine Rahmenschicht 12 und eine Aufhängungsvorrichtung 14 auf. Der Schwingkörper 10, die Rahmenschicht 12 und die Aufhängungsvorrichtung 14 sind vorzugsweise einstückig aus einer Siliziumschicht gebildet. Dabei ist die Siliziumschicht derart strukturiert, daß dieselbe eine Ausnehmung aufweist, in der der Schwingkörper 10 angeordnet ist, wobei der Schwingkörper 10 durch die Aufhängungsvorrichtung 14, bei der es sich vorzugsweise um Siliziumfedern, die in der Siliziumschicht strukturiert sind, handelt, in der Ausnehmung gelagert ist. Somit liegen Seitenflächen 16a und 16b des Schwingkörpers 10 inneren Seitenflächen 18a und 18b der Siliziumschicht, d.h. der Rahmenschicht 12 nach dem Strukturieren der Siliziumschicht, derart gegenüber, daß zwischen denselben eine Art Plattenkondensator gebildet ist. Die Aufhängungsvorrichtung

14, die die Torsionsarme darstellt, um die der Schwingkörper 10 schwenkbar ist, verbindet den Schwingkörper 10 an den zwei Seiten desselben, die senkrecht zu den Seitenflächen 16a und 16b sind, derart mit der Rahmenschicht 12, daß die Seitenflächen 16a und 16b, die als bewegliche Elektroden zum Antreiben des Schwingkörpers 10 dienen, im wesentlichen senkrecht zu der Ebene des Trägersubstrats sind.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel wurde das mikromechanische Bauelement aus einer SOI-Substrat-Struktur hergestellt, wobei die Siliziumschicht, in der die Rahmenschicht 12 und der Schwingkörper 10 strukturiert sind, mittels einer Isolationsschicht 20 an einem Trägersubstrat 22 angebracht ist. Das Trägersubstrat 22 und die Isolationsschicht 20 sind unterhalb der Ausnehmung in der Siliziumschicht, in der der Schwingkörper 10 gebildet ist, beseitigt, so daß die Amplitude der Bewegung des Schwingkörpers 10 durch dieselben nicht beeinträchtigt ist. Ferner ergibt sich durch das Trägersubstrat 22 eine Haltevorrichtung, durch die das mikromechanische Bauelement an seinem Einsatzort angebracht werden kann.

Die Herstellung des in Fig. 1 dargestellten mikromechanischen Bauelements kann mittels bekannter Verfahren der Oberflächenmikromechanik durchgeführt werden. Es sind keine weiteren Aufbau- oder Verbindungstechniken bzw. Schritte notwendig, um die Funktionalität des mikromechanischen Bauelements zu gewährleisten. Dabei wird bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements von einem SOI-Substrat ausgegangen, wobei mittels bekannter Verfahren die Epitaxieschicht, die vorzugsweise eine hochdotierte Siliziumschicht ist, strukturiert wird, um den Schwingkörper 10, die Aufhängung 14 und die Rahmenschicht 12 zu definieren. Bei dieser Strukturierung kann die Isolationsschicht 20, die vorzugsweise aus Siliziumdioxyd besteht, als Ätzstopp dienen. Nach dieser Strukturierung der Epitaxieschicht wird ein Rückseitenätz-

prozeß durchgeführt, um das Trägersubstrat 22 und die Isolationsschicht zumindest unterhalb des Schwingkörpers 10 zu entfernen, um dadurch zu gewährleisten, daß die Bewegungsamplitude des Schwingkörpers 10 durch diese Schichten nicht eingeschränkt ist.

Nachfolgend wird bezugnehmend auf die Fig. 1 und 2 die Funktionsweise des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements erläutert. Es sei zunächst davon ausgegangen, daß der über die zwei Torsionsarme, die die Aufhängungsvorrichtung 14 bilden, aufgehängte Schwingkörper bereits schwingt. Im nicht ausgelenkten Zustand, der in Fig. 1 dargestellt ist, besitzen die Systeme aus beweglicher Elektrode 16a bzw. 16b und Gegenelektrode 18a bzw. 18b jeweils ihre maximale Kapazität  $C_0$ . Diese Kapazität wird, wie bereits oben erläutert wurde, jeweils aus einer Seitenfläche 18a bzw. 18b der Ausnehmung in der Rahmenschicht 12, die als Gegenelektrode wirkt, und einer Seitenfläche 16a bzw. 16b des Schwingkörpers 10, die als bewegliche Elektrode wirkt, gebildet. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel liegen sich im Ruhezustand des Schwingkörpers jeweils zwei dieser Elektroden direkt gegenüber, so daß zwischen denselben die maximale Kapazität  $C_0$  gebildet ist.

Mit zunehmender Auslenkung, wie in Fig. 2 dargestellt ist, nimmt die Kapazität zwischen den Elektroden 16a und 18a bzw. 16b und 18b ab. Während der Schwingung des Schwingkörpers 10 stellt das System somit eine auslenkungswinkelabhängige Kapazität dar. Schwingt der Schwingkörper 10 auf seine Ruhelage, die in Fig. 1 dargestellt ist, zu, so wirkt aufgrund der Kapazitätsvergrößerung zwischen den jeweiligen Elektroden 16a und 18a bzw. 16b und 18b ein beschleunigendes Moment auf den Schwingkörper 10, wenn zwischen den jeweiligen Elektroden eine elektrische Spannung anliegt. bei Erreichen der Ruhelage durch den Schwingkörper 10, d.h. im Nulldurchgang desselben, wird diese zwischen dem Schwingkörper 10 und der Rahmenschicht 12 anliegende Spannung auf einen niedrigeren

Wert geschaltet oder ausgeschaltet, so daß beim Heraus-schwingen aus der Ruhelage höchstens ein geringes elektri-sches Drehmoment bremsend wirkt.

Der oben beschriebene Vorgang findet in jeder Halbperiode der Schwingung des Schwingkörpers 10 statt. Die einkoppelba-re Energie pro Halbperiode ist proportional zur Kapazitäts-änderung. Unter Vernachlässigung von Randeffekten nimmt die Kapazität auf Null ab, sobald der Schwingkörper 10 eine Aus-lenkungsamplitude aufweist, die größer als die Elektrodenhö-he, d.h. größer als die Höhe der Seitenfläche 16a bzw. 16b desselben, ist. Somit kann pro Schwingungsperiode maximal die Energie  $E=C_0 \cdot U^2$  eingekoppelt werden, wobei U die Span-nung zwischen den jeweiligen Elektroden 16a und 18a bzw. 16b und 18b ist, die im Nulldurchgang ausgeschaltet wird.

Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Er-finding sind die beweglichen Elektroden und die jeweils ge-genüberliegenden festen Elektroden derart ausgestaltet, daß eine hohe Energieeinkopplung möglich ist. Dies kann bei-spielsweise durch eine kammförmige oder meanderförmige Aus-gestaltung der Elektroden erreicht werden.

Die Synchronisation des Abschaltzeitpunktes der elektrischen Spannung mit dem Nulldurchgang der Schwingung kann entweder über ein optisches Verfahren, beispielsweise durch Abtastung mittels eines Laserstrahls, durch den bei der Kapazitätsän-derung auftretenden Lade/Entladestrom oder durch eine Be-stimmung der momentanen Kapazität realisiert werden.

Alternativ kann die Schwingung auch durch eine Wechselspan-nung geeigneter, aber fester Frequenz aufrechterhalten wer-den. Da hierbei allerdings die Phasenlage im allgemeinen un-günstig ist, ist die Energieeinkopplung geringer. Die Anregungsfrequenz muß dabei nicht der mechanischen Resonanzfre-quenz des Schwingkörpers entsprechen. Im allgemeinen wird die Anregungsfrequenz das doppelte der Schwingungsfrequenz

betragen, da der Schwingkörper den Nulldurchgang zweimal pro Periode passiert.

Das Anschwingen des Schwingkörpers des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements kann durch verschiedene Möglichkeiten erreicht werden, wobei jeweils eine anfängliche Auslenkung des Schwingkörpers 10 erforderlich ist. Eine solche Auslenkung kann durch eine Spannung erzeugt werden, wenn der Schwingkörper im Herstellungsprozess asymmetrisch angeordnet wird, indem bewirkt wird, daß derselbe in der Ruhelage gegenüber der Rahmenschicht eine Verkippung aufweist. Eine solche Verkippung könnte beispielsweise erzeugt werden, indem die Aufhängungseinrichtung derart realisiert wird, daß eine bestimmte mechanische Vorspannung auf den Schwingkörper 10 ausgeübt wird.

Ein alternatives Ausführungsbeispiel zum Erzeugen der oben genannten Asymmetrie ist in Fig. 3 dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel des mechanischen Bauelements ist benachbart zu der Gegenelektrode 18a auf der Rahmenschicht 12 eine weitere Elektrode 24 vorgesehen, die durch eine Isolationsschicht 26 von der Rahmenschicht 12 isoliert ist. Die Isolationsschicht 26 kann beispielsweise eine Glasschicht sein, während die zusätzliche Elektrode 24 aus Metall bestehen kann.

Diese Elektrode 24 stört die Symmetrie des Aufbaus, da dieselbe die Kapazität zwischen der beweglichen Elektrode 16a und der Gegenelektrode 18a beeinflußt, d.h. im allgemeinen erhöht. Somit ermöglicht das Anbringen der Gegenelektrode 24 oberhalb der Gegenelektrode an einer Seite des beweglichen Elements, wie in Fig. 3 dargestellt ist, ein Anschwingen des Schwingkörpers 10.

Bezugnehmend auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wurde ein mikromechanisches Bauelement beschrieben, bei dem der Schwingkörper durch die Auf-

hängungseinrichtung derart in der Rahmenschicht gelagert ist, daß die erzeugbare Schwingung eine Torsionsschwingung ist. Alternativ ist die vorliegende Erfindung jedoch auch auf Bauelemente anwendbar, bei denen der Schwingkörper durch die Aufhängungseinrichtung einseitig in der Rahmenschicht eingespannt ist, derart, daß die erzeugbare Schwingung eine Biegeschwingung ist.

Die vorliegende Erfindung schafft somit ein mikromechanisches Bauelement, das auf einem Antriebsprinzip beruht, das die Erzeugung von resonanten Biege- und Torsionsschwingungen eines Schwingkörpers ohne Einschränkung der Amplitude durch die Geometrie des Aufbaus ermöglicht. Das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement besitzt einen äußerst einfachen Aufbau, und ist zudem mittels bekannter Verfahren der Oberflächenmikromechanik ohne zusätzliche Verbindungs-Techniken oder -Schritte herstellbar.

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Bauelement mit folgenden Merkmalen:

einer Rahmenschicht (12),

einem Schwingkörper (10), der durch eine Aufhängungseinrichtung (14) in einer die Rahmenschicht (12) durchdringenden Ausnehmung derart gelagert ist, daß der Schwingkörper (10) vertikal zur Rahmenschichtebene um eine Schwingachse schwenkbar ist,

wobei zumindest eine Seitenfläche (16a, 16b) des Schwingkörpers (10), die im wesentlichen senkrecht zur Rahmenschichtebene ist, bezüglich zumindest einer inneren Seitenfläche (18a, 18b) der Ausnehmung derart angeordnet ist, daß eine zwischen denselben gebildete Kapazität durch eine Schwingung des Schwingkörpers (10) variiert, derart, daß durch periodisches Verändern einer Spannung, die zwischen die Rahmenschicht (12) und den Schwingkörper (10) angelegt ist, eine Schwingung des Schwingkörpers (10) um die Schwingachse erzeugbar ist, und

einem Trägersubstrat (22) zum Halten der Rahmenschicht (12), wobei das Trägersubstrat (22) derart ausgebildet ist, daß dasselbe einen verglichen mit dem Einfluß der Spannung zwischen Rahmenschicht (12) und Schwingkörper (10) vernachlässigbaren physikalischen Einfluß auf die Erzeugung der Schwingung des Schwingkörpers (10) hat.

2. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 1, bei dem die Rahmenschicht (12), die Aufhängung (14) und der Schwingkörper (10) einstückig ausgebildet sind.

3. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 2, bei dem die Rahmenschicht (12), die Aufhängung (14) und der Schwingkörper (10) aus einer hochdotierten Siliziumschicht gebildet sind.
4. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 3, bei dem die hochdotierte Siliziumschicht mittels einer Isolationsschicht (20) auf einem Trägersubstrat (22) angeordnet ist, wobei die Isolationsschicht (20) und das Trägersubstrat (22) zumindest im Bereich des Schwingkörpers (10) entfernt sind.
5. Mikromechanisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Schwingkörper durch die Aufhängungseinrichtung einseitig in der Rahmenschicht eingespannt ist, derart, daß die erzeugbare Schwingung eine Biegeschwingung ist.
6. Mikromechanisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Schwingkörper (10) durch die Aufhängungseinrichtung (14) derart in der Rahmenschicht gelagert ist, daß die erzeugbare Schwingung eine Torsionschwingung ist.
7. Mikromechanisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem Mittel vorgesehen sind, um eine Asymmetrie des Aufbaus aus Rahmenschicht (12), Schwingkörper (10) und Aufhängungsvorrichtung (14) zu liefern, um ein Anschwingen des Schwingkörpers (10) zu ermöglichen.
8. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 7, bei dem die Asymmetrie durch eine auf der Rahmenschicht (12) benachbart zu einer inneren Seitenfläche (18a) der Ausnehmung angeordnete, von der Rahmenschicht (12) isolierte Elektrode (24) bewirkt wird.
9. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 7, bei dem

die Asymmetrie durch einen asymmetrischen Aufbau des Schwingkörpers und/oder der Rahmenschicht bewirkt wird.

10. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 7, bei dem die Asymmetrie dadurch bewirkt wird, daß der Schwingkörper in einer Ruhelage desselben, wenn keine Spannung zwischen Rahmenschicht und Schwingkörper angelegt ist, relativ zu der Rahmenschicht um die Schwingachse verkippt ist.
11. Mikromechanisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit einer Steuervorrichtung, die das Verändern der zwischen der Rahmenschicht (12) und dem Schwingkörper (10) anliegenden Spannung bewirkt, wobei die Steuervorrichtung die Spannung jeweils im wesentlichen bei einem Nulldurchgang der Schwingung des Schwingkörpers (10) auf einen minimalen Wert absenkt.
12. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 11, bei dem die Steuervorrichtung die Spannung bei einem Nulldurchgang der Schwingung des Schwingkörpers (10) jeweils abschaltet.
13. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 11 oder 12, bei dem die Steuervorrichtung die Spannung zwischen der Rahmenschicht (12) und dem Schwingkörper (10) jeweils bei einer maximalen Auslenkung des Schwingkörpers (10) auf einen maximalen Wert erhöht.
14. Mikromechanisches Bauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 13, bei dem die Steuervorrichtung ferner Mittel zum Erfassen der Nulldurchgänge der Schwingung des Schwingkörpers (10) aufweist.
15. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 14, bei dem die Mittel zum Erfassen einen optischen Detektor aufweisen.

16. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 14, bei dem die Mittel zum Erfassen zumindest eine Einrichtung zum Detektieren der Kapazität zwischen einer Seitenfläche (16a, 16b) des Schwingkörpers (10) und einer zugeordneten inneren Seitenfläche (18a, 18b) der Ausnehmung aufweisen.
17. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 14, bei dem die Mittel zum Erfassen zumindest eine Einrichtung zum Detektieren eines Lade/Entladestroms der Kapazität zwischen einer Seitenfläche des Schwingkörpers und einer zugeordneten inneren Seitenfläche der Ausnehmung aufweisen.
18. Mikromechanisches Bauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 17, bei dem die Steuervorrichtung eine periodische Spannung geeigneter Frequenz zwischen Rahmenschicht (12) und Schwingkörper (10) anlegt.

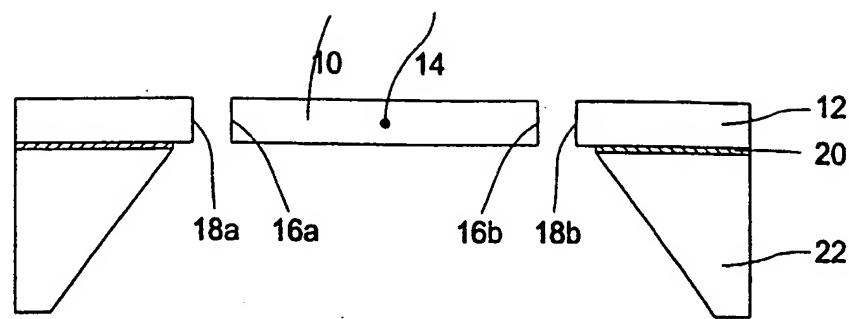


FIG.1

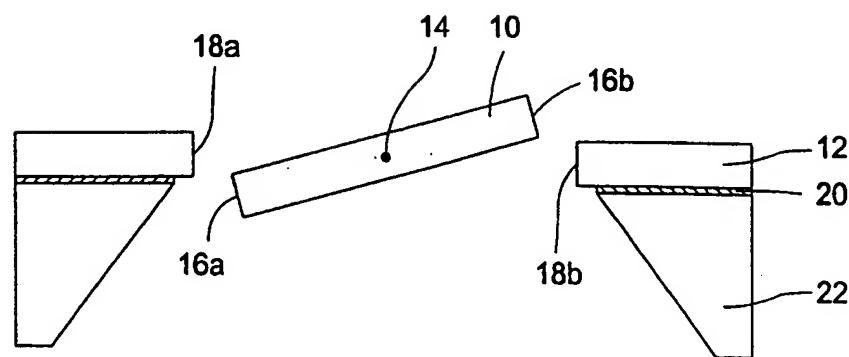


FIG.2

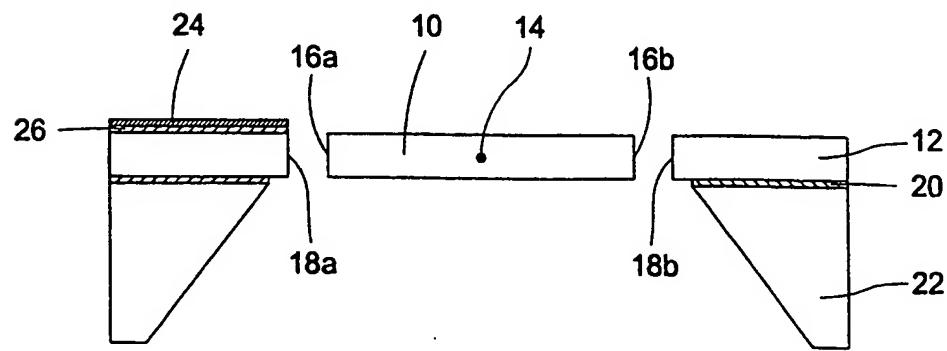


FIG.3

ERSATZBLATT (REGEL 26)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 98/08204

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G02B26/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>FISCHER M ET AL: "ELECTROSTATICALLY DEFLECTABLE POLYISILICON TORSIONAL MIRRORS" SENSORS AND ACTUATORS A, vol. A44, no. 1, 1 July 1994 (1994-07-01), pages 83-88, XP000469159 ISSN: 0924-4247 cited in the application paragraph '0002!</p> <p>---</p>	1
A	<p>HORNBECK L J: "DEFORMABLE-MIRROR SPATIAL LIGHT MODULATORS" SPATIAL LIGHT MODULATORS AND APPLICATIONS III, 7-8 AUGUST 1989, SAN DIEGO, vol. 1150, 7 August 1989 (1989-08-07), pages 86-102, XP000351394 paragraph '0001!; figures 1,2</p> <p>---</p> <p>-/-</p>	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

6 August 1999

13/08/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sarneel, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l. Appl. No.  
PCT/EP 98/08204

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 275 787 A (BRITISH AEROSPACE) 7 September 1994 (1994-09-07) page 5, paragraph 6 - page 6, paragraph 2; figure 2 ---	1
A	DE 42 24 601 A (SOMATEL SONDERMASCHINENBAU TEL) 27 January 1994 (1994-01-27) page 4, line 19 - line 65; figures 1,2 -----	1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

Int'l. Jpnld Application No

PCT/EP 98/08204

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2275787 A	07-09-1994	NONE	
DE 4224601 A	27-01-1994	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 98/08204

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G02B26/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprästoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprästoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	FISCHER M ET AL: "ELECTROSTATICALLY DEFLECTABLE POLYISILICON TORSIONAL MIRRORS" SENSORS AND ACTUATORS A, Bd. A44, Nr. 1, 1. Juli 1994 (1994-07-01), Seiten 83-88, XP000469159 ISSN: 0924-4247 in der Anmeldung erwähnt Absatz '0002! ---	1
A	HORNBECK L J: "DEFORMABLE-MIRROR SPATIAL-LIGHT MODULATORS" SPATIAL LIGHT MODULATORS AND APPLICATIONS III, 7-8 AUGUST 1989, SAN DIEGO, Bd. 1150, 7. August 1989 (1989-08-07), Seiten 86-102, XP000351394 Absatz '0001!; Abbildungen 1,2 ---	1 -/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
  - "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
  - "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
  - "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweckmäßig erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
  - "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
  - "P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des Internationalen Rechercheberichts

6. August 1999

13/08/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Sarneel, A

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte. Jonales Aktenzeichen  
PCT/EP 98/08204

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beir. Anspruch Nr.
A	GB 2 275 787 A (BRITISH AEROSPACE) 7. September 1994 (1994-09-07) Seite 5, Absatz 6 - Seite 6, Absatz 2; Abbildung 2 ----	1
A	DE 42 24 601 A (SOMATEL SONDERMASCHINENBAU TEL) 27. Januar 1994 (1994-01-27) Seite 4, Zeile 19 - Zeile 65; Abbildungen 1,2 ----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. nationales Aktenzeichen  
PCT/EP 98/08204

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2275787 A	07-09-1994	KEINE	
DE 4224601 A	27-01-1994	KEINE	